



REC'D 09 NOV 2004	
WIPO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 103 52 422.3

Anmeldetag: 10. November 2003

Anmelder/Inhaber: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, 80636 München/DE

Bezeichnung: Verfahren zur quantitativen Längenbestimmung
eines Weichzonenbereiches eines teilgehärteten
Werkstückes

IPC: G 01 B 7/02

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 11. Oktober 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Schmidt C.

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

BEST AVAILABLE COPY

Rösler
Patentanwaltskanzlei

urpatent®

Rösler Patentanwaltskanzlei, Landsberger Str. 480 a, 81241 München

Deutsches Patent- und Markenamt

Zweibrückenstr. 12

80297 München

Uwe Th. Rösler, Dipl.-Phys.
Dr. Roland Gagel, Dipl.-Phys.*

Patentanwälte,
European Patent Attorneys,
European Trademark Attorneys

Telefon: +49/(0)89/820 477 120
Telefax: +49/(0)89/820 477 121
email: ur@urpatent.com

07.11.2003, Rö/Bi
Unser Zeichen: F103R264



Neue Deutsche Patentanmeldung

Anmelder:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.
Hansastr. 27c, 80686 München

Verfahren zur quantitativen Längenbestimmung eines Weichzonenbereiches eines teilgehärteten Werkstückes



Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur quantitativen Längenbestimmung eines Weichzonenbereiches eines teilgehärteten metallischen Werkstückes, das wenigstens einen gehärteten und einen ungehärteten Bereich aufweist mittels wenigstens einem Mehrfrequenzwirbelstromsensor.

Stand der Technik

In Getriebeautomaten häufig verwendete Bauelemente sind so genannte Planetengetriebe, deren Zahnräder andauernd miteinander in Eingriff stehen. Trotz der Vielzahl unterschiedlich ausgebildeter Planetengetriebe ist allen derartigen Getriebetypen gemeinsam, dass wenigstens ein als Planetenrad ausgebildetes Zahnrad in Eingriff mit einem zentral angeordneten Sonnenrad sowie einem peripher umlaufenden, innen verzahnten Hohlrad steht. Die Planetenräder sind zumeist zentrisch von so genannten Planetenradbolzen durchsetzt, die die Planetenräder beidseitig überragen. Zur Herstellung derartiger Planetenradbolzen werden metallische voll- oder hohlzylinderartig ausgebildete Stangenprofile auf eine gewünschte Länge gebracht. Zur Verbesserung der Materialfestigkeit werden anschließend die abgelängten zylindrischen Formteile einem Härtingsprozess unterzogen, wobei zu Zwecken einer nachfolgenden Bearbeitung der Stirnseiten der einzelnen zylindrischen Werkstücke eben jene stirnseitigen Endbereiche vom Härtingsprozess ausgenommen werden müssen. Zur Härtung des Werkstückes bedient man sich der an sich bekannten Induktionshärtung, mit der eine effektive Erhitzung nahezu des gesamten zylindrischen Werkstückes mit Ausnahme der stirnseitig gelegenen Werkstückendbereiche möglich ist. Die stirnseitig gelegenen Werkstückendbereiche, die vom Härtingsprozess bewusst ausgespart werden sollen weisen in Abhängigkeit der jeweiligen Werkstückgröße eine axiale Erstreckung bzw. Breite von wenigen Millimetern, vorzugsweise zwischen 1,5 mm und 2,5 mm auf.

Die in der vorstehenden Weise teilgehärteten, zylindrischen Werkstücke gilt es im weiteren an ihren Stirnseiten zumeist im Wege eines Materialabtragevorganges nachzubearbeiten. Es ist leicht einzusehen, dass sich im Falle eines vollständig durch gehärteten Werkstückes der Nachbearbeitungsschritt wesentlich schwieriger gestalten würde und auf das eingesetzte Abtragwerkzeuges ungleich verschleißträchtiger auswirken würde. Aus diesem Grunde liegt ein besonderes Interesse darin, die als Halbfertig-Produkte vorliegenden teilgehärteten, zylinderförmigen Werkstücke unter den vorstehend beschriebenen Bedingungen teil zu härten, um letztlich sicher zu stellen, dass die stirnseitigen Enden der

teilgehärteten Werkstücke so genannte „Weichzonenbereiche“ darstellen, also ungehärtet verbleiben.

Zur Qualitätsprüfung der teilgehärteten Halbfertig-Produkte bedient man sich bislang an sich bekannten Kontrollverfahren, wie beispielsweise der personellen Sichtprüfung der stirnseitigen Weichzonenbereiche. Hierbei bedarf es eines geschulten Blickes, um den gehärteten Werkstückbereich vom nicht gehärteten Bereich zu unterscheiden. Unter einem geeigneten Sichtwinkel und geeigneten Lichtverhältnissen wird Licht an der Weichzonenbereich-Oberfläche geringfügig anders reflektiert bzw. gestreut, als im Oberflächenbereich des gehärteten Werkstückes. Zweifelsohne ist diese Kontrolltechnik zeit- und kostenaufwendig.

Überdies unterliegt das Kontrollpersonal einer unvermeidbar auftretenden Ermüdung, wodurch die Prüfsicherheit nicht mehr in gewünschter Weise gewährleistet werden kann.

Zur Vermeidung des personellen Einsatzes ist eine optische Kontrollmesstechnik bekannt, mit der es möglich ist, Farbunterschiede zu detektieren, durch die sich der Weichzonenbereich von der gehärteten Zone unterscheidet.

Neben optischen Verfahren sind auch elektromagnetische Verfahren, beispielsweise das Mehrfrequenzwirbelstromverfahren, bekannt, wie es beispielsweise aus der DE 36 20 491 C2 hervorgeht. Das Wirbelstromprinzip erkennt Oberflächenfehler sowie auch Gefügeunterschiede anhand von Unregelmäßigkeiten in induzierten

Wirbelströmen. Tastsonden oder umfassende Sonden induzieren diese Wirbelströme und messen gleichzeitig die von den Wirbelströmen ausgehenden elektromagnetischen Felder. Die in der vorstehenden Druckschrift beschriebene Auswertung der im Wege der Mehrfrequenzwirbelstromtechnik gewonnenen Messsignale basiert auf der Ellipsenauswertung in der Impedanzebene unter Zugrundelegung mehrerer Messfrequenzen und erlaubt einen rein qualitativen Befund des zu untersuchenden Werkstückes. Aussagen hinsichtlich absoluter Größenangaben von vorhandenen Weichzonenbereichen sind mit den vorgeschlagenen Auswerteverfahren nicht möglich.

Auch sind so genannte magnetische Barkhausen-Rausch-Verfahren bekannt, mit denen in einem zu untersuchenden Werkstück im Wege dynamischer Ummagnetisierungsprozesse hochfrequente Barkhausen-Sprünge induziert werden, die mit einem magnetinduktiven Aufnehmer erfasst werden können. Im Bereich der Weichzone ist die Intensität des Barkhausen-Rauschens sehr viel größer als im Bereich der gehärteten Zone, so dass eine Unterscheidbarkeit und letztlich eine Messbarkeit beider Werkstückbereiche möglich ist. Nachteilhaft ist jedoch die Notwendigkeit eines Anregungsjoches sowie die hohe Sensibilität auf äußere Störeinflüsse, wodurch ein industrieller Einsatz eines derartigen Verfahrens nur bedingt möglich ist.

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur quantitativen Größenbestimmung eines Weichzonenbereiches eines teilgehärteten metallischen Werkstückes, das wenigstens einen gehärteten und einen ungehärteten Bereich aufweist, unter Verwendung wenigstens eines Mehrfrequenzwirbelstromsensors, derart anzugeben, dass mit möglichst einfachen und kostengünstigen Mitteln eine schnelle und genaue quantitative Bestimmung der Weichzonenbreite eines teilgehärteten Werkstückes, vorzugsweise eines als Halbfertig-Produkt vorliegenden Planetenradbolzens, möglich wird. Das Verfahren soll im industriellen Maßstab einsetzbar sein und für den Inline-Betrieb, d.h. längs einer kontinuierlich oder taktweise arbeitenden Fertigungslinie einsetzbar sein.

Die quantitative Angabe, mit der der Weichzonenbereich gemessen werden soll, soll hinreichend genau, beispielsweise mit einer Genauigkeit von $\pm 0,3$ mm erfolgen.

Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Den Erfindungsgedanken vorteilhaft weiterbildende Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der weiteren Beschreibung unter Bezugnahme auf das Ausführungsbeispiel zu entnehmen.

Erfindungsgemäß ist ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1 dadurch ausgebildet, dass relativ zu einem Mehrfrequenzwirbelstromsensor jeweils

vereinzelt ein Werkstück derart bewegt bzw. zugeführt wird, dass ein durch den Mehrfrequenzwirbelstromsensor erzeugtes Wirbelstromfeld räumlich begrenzt mit dem Werkstück berührungslos in Wechselwirkung tritt, in diesem Wirbelströme hervorruft, die wiederum im Mehrfrequenzwirbelstromsensor ein Messsignal generieren, wobei das räumlich begrenzte Wirbelstromfeld eine längs zur Werkstückoberfläche orientierte größte Erstreckung aufweist, die größer ist als eine maximale Erstreckung des Weichzonenbereiches längs der Werkstückoberfläche.

Unter den vorstehend genannten Messvoraussetzungen gilt es in einem ersten Schritt Kalibrierdaten zu generieren, die anhand einer Anzahl von n Werkstücken, die vorzugsweise aus der Gruppe der zu vermessenden Werkstücke stammen, gewonnen werden. Hierbei werden die Messsignale der n Werkstücke unter Annahme eines vorgegebenen Normmaßes der Weichzonenbreite, d.h. das gewünschte Sollmaß einer längs zur Werkstückoberfläche orientierten Erstreckung des Weichzonenbereiches, zur Erstellung einer Kalibrierkurve, verwendet. Anhand der auf diese Weise erhaltenen Kalibrierkurve werden im Weiteren die in der Zuführung nachfolgenden Werkstücke in der gleichen Weise vermessen. Unter Zugrundelegung der Kalibrierkurve können nun die gewonnenen Messsignale jeweils absoluten Weichzonenbreiten zugeordnet werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich daher dadurch aus, dass unter kontinuierlicher getakteter Zuführung von Werkstücken zum Messsensor in einem ersten Schritt eine dynamische Kalibrierung, d.h. eine Erstellung einer Korrelation zwischen Messsignalen mit Sollgrößen, in Form von als absolute Werte vorliegenden Weichzonenbreiten, erfolgt. In einem zweiten Schritt schließt sich eine quantitative Bestimmung der Weichzonenbreite aller nachfolgenden, dem Mehrfrequenzmesssensor zugeführte Werkstücke, an, die mit hoher Genauigkeit durchgeführt wird. Das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich demzufolge in einer industriellen Fertigungsstraße einsetzen, ohne dabei den Werkstückfluss längs einer Förderstraße zu beeinflussen, zumal die durchgeführte Qualitätskontrolle vollständig berührungslos erfolgt.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird im weiteren unter Bezugnahme auf die Vermessung von Planetenradbolzen als Halbfertig-Produkte beschrieben, die wie vorstehend erwähnt, über eine zylinderförmige Form verfügen und zwei stirnseitig vorgesehene Weichzonenbereiche vorsehen, die durch einen in Axialrichtung größer dimensionierten gehärteten Mittenbereich voneinander getrennt sind.

Selbstverständlich lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren auch auf alternative, teilgehärtete Werkstücke anwenden, bei denen die Information über eine exakte räumliche Erstreckung von gehärteten oder nicht gehärteten Werkstückbereichen relevant ist.

Kurze Beschreibung der Erfindung

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 schematisierte Darstellung eines teilgehärteten Planetenradbolzens mit Mehrfrequenzwirbelstromsensor, sowie

Fig. 2 qualitative diagrammartige Darstellung einer Amplitudenortskurve zur Bestimmung einer definierten Relativlage zwischen zu vermessendem Werkstück und Mehrfrequenzsensor.

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

In Fig. 1 ist stark schematisiert ein Planetenradbolzen 1 dargestellt, der in aller Regel aus einem metallischen Vollmaterial besteht und im Wege einer Induktionshärtung im Mittenbereich des Bolzens 1 eine gehärtete Zone 2 aufweist. Die Figur 1 zeigt sowohl eine Seiten- als auch eine Vorderansicht auf die Messsituation.

Beidseitig an der gehärteten Zone 2 angrenzend, schließen ungehärtete Bereiche, die so genannten Weichzonenbereiche 3 an, die mit den Stirnseiten des Planetenradbolzens 1 abschließen. Je nach Formgebung und Dimensionierung des Planetenradbolzens 1 weisen die Weichzonenbereiche 3 typischerweise eine axiale Längserstreckung, d.h. eine Weichzonenbreite b zwischen 1,5 mm und 2,5 mm auf.

Zur exakten Vermessung der Weichzonenbreite b , deren Kenntnis wichtig für nachfolgende Bearbeitungsprozesse ist, durch die der als Halbfertig-Produkt vorliegende Planetenradbolzen eine weiterführende äußere Form annimmt, die beispielsweise durch gezielten Materialabtrag innerhalb der Weichzonenbereiche 3 bestimmt wird, wird ein Mehrfrequenzwirbelstromsensor 4 in der in Fig. 1 angegebenen Richtung parallel zur Längserstreckung des Planetenradbolzens 1, beabstandet von dessen Oberfläche bewegt. In einer industriellen Anwendung ist es vorteilhaft, dass der Mehrfrequenzwirbelstromsensor 4 örtlich in Ruhe ist und die zu vermessenden Werkstücke vereinzelt, längs einer Förderstrecke dem Sensorbereich zugefördert werden.

Der Mehrfrequenzwirbelstromsensor 4 verfügt über eine in Bewegungsrichtung (siehe Pfeildarstellung) orientierte effektive Wirkbreite, die größer ist als die axiale Erstreckung der Weichzonenbreite 3, so dass gewährleistet ist, dass das vom Mehrfrequenzwirbelstromsensor 4 erzeugte Wirbelstromfeld bei geeigneter Positionierung relativ zum Planetenradbolzen 1 den Weichzonenbereich 3 vollständig überragt.

Zur exakten Erfassung der Weichzonenbreite b gilt es, eine Messkonstellation zu schaffen, in der der Mehrfrequenzwirbelstromsensor 4 die Weichzone 3 vollständig überragt, wobei das vom Mehrfrequenzwirbelstromsensor 4 erzeugte Wirbelstromfeld zugleich auch einen Teilbereich der an die Weichzone 3 angrenzende gehärtete Zone durchdringen soll. Eine derartige Messkonstellation ist in Fig. 1 dargestellt.

Da die Relativbewegung zwischen Mehrfrequenzwirbelstromsensor 4 und Planetenradbolzen 1 mit einer konstanten Geschwindigkeit erfolgt, gilt es eben jenen Zeitpunkt bzw. eben jene Messkonstellation, wie in Fig. 1 dargestellt, zu bestimmen, in der die Messung der gesuchten Weichzonenbreite b möglich ist.

Üblicherweise erfolgt die Messsignalaufnahme mittels des Mehrfrequenzwirbelstromsensors 4 in getakteter Weise, so dass, während der Wirbelstrommesssensor 4 über die gesamte Länge des Planetenradbolzens 1

bewegt wird, eine Vielzahl einzelner Messsignale aufgenommen wird. Der Mehrfrequenzwirbelstromsensor 4 wird in vorteilhafter Weise mit vier unterschiedlichen Prüffrequenzen betrieben, so dass letztlich pro Messpunkt vier Messsignale erhalten werden, die jeweils gemäß Phase und Amplitude zur weiteren Auswertung in der komplexen Impedanzebene in Real- und Imaginärteil aufgespalten werden. Somit stehen zur Signalauswertung pro Messpunkt acht unterschiedliche Messsignalkomponenten zur Verfügung.

Aus den gewonnenen Messsignalen während der Relativbewegung des Mehrfrequenzwirbelstromsensors 4 längs der Oberfläche axialwärts zum Planetenradbolzen 1 können für jede Messfrequenz die gewonnenen Messsignale in Form einer Amplitudenortskurve dargestellt werden. Anhand der in Figur 2 dargestellten Amplitudenortskurve (x-Achse entspricht der Ortskoordinate, längs der y-Achse sind die Amplitudenpegel des Messsignals aufgetragen) lässt sich exakt jenes Messsignal extrahieren, das in der vorstehend beschriebenen, für die Messung der Weichzonenbreite b erforderlichen Messkonstellation, gewonnen worden ist. Die Festlegung bzw. Auswahl des für die Messauswertung relevanten Messsignals aus der Amplitudenortskurve erfolgt unter Zugrundelegung empirisch gewonnener Informationen, sofern die Relativgeschwindigkeit zwischen Sensor und Werkstück hinreichend konstant ist.

In gleicher Weise, mit der die Messsignalextraktion zur Weichzonenbreitenbestimmung der in Fig. 1 dargestellten linken Weichzone 3 durchgeführt wird, lässt sich ebenso ein bestimmtes Messsignal zur Weichzonenbreitenbestimmung der in Fig. 1 rechten dargestellten Weichzone 3 ableiten.

Wie die vorstehenden Ausführungen zeigen, ist es möglich, die räumliche Relativlage zwischen Mehrfrequenzwirbelstromsensor 4 und dem zu vermessenden Planetenradbolzen 1 berührungsfrei und letztlich ausschließlich unter Verwendung der mit dem Mehrfrequenzwirbelstromsensor 4 gewonnenen Messsignale zu ermitteln.

Bevor die gewonnenen Messsignale, die als Amplituden- und Phaseninformationen vorliegen, exakten Breitenwerten b , beispielsweise unter Angabe absoluter mm-Werte, zugeordnet werden können, bedarf es einer Messsignalkalibrierung, die erfindungsgemäß dynamisch durchgeführt wird, d.h. während der normalen fertigungstechnischen Zuführung von zu vermessenden Planetenradbolzen zum Mehrfrequenzwirbelstromsensor 4. Unter Voraussetzung, dass die als Halbfertigprodukte vorliegenden, teilgehärteten Planetenradbolzen so genannte i.O.-Teile sind, d.h., Planetenradbolzen mit korrekt dimensionierten Weichzonenbreiten b , die bekannt sind, werden die ersten n in der Werkstückzuführung zum Mehrfrequenzwirbelstromsensor 4 zu Kalibrierzwecken ausgewählt. In geeigneter Weise werden einzelne Planetenradbolzen zu Kalibrierzwecken vermessen, wobei die in vorstehend beschriebener Weise vermessenen Planetenradbolzen jeweils Messsignale liefern, die mit den absoluten Weichzonenbreiten b in Korrelation gebracht werden. Um bspw. das Messsignal, das die Weichzonenbreite b angrenzend an der linken Stirnseite des Planetenradbolzens 1 repräsentiert, aus der Amplitudenortskurve zu extrahieren, wird, beruhend auf empirischen Kenntnissen, der Punkt P1 gewählt. Die Anzahl der zwischen dem Punkt P1 und dem Minimum liegenden Messsignale bestimmt sich empirisch. In gleicher Weise verhält es sich mit der Auswahl des Punkt P2, der die Breite der rechten Weichzone repräsentiert.

Für die Ermittlung einer Kalibrierkurve ist jedoch wenigstens ein weiterer Messpunkt notwendig, der sich durch Erfassen eines Messsignals inmitten des Planetenradbolzens, also inmitten der gehärteten Zone 2, ergibt. Dieses Messsignal P3 befindet sich zwischen dem Minimum und Maximum der Amplitudenortskurve. Da in diesem Bereich mit Sicherheit angenommen werden kann, dass keine Weichbereiche enthalten sind, ist hier die Weichzonenbreite b gleich Null. Auf der Grundlage dieser beiden Messwerte wird eine Kalibrierkurve erstellt, die den weiteren Messungen an den nachfolgenden Planetenradbolzen zugrunde gelegt wird.

Alle in Förderrichtung, den zu Kalibrierzwecken vermessenen Planetenradbolzen nachfolgenden Planetenradbolzen werden mit der identischen Messweise, jedoch unter Zugrundelegung der gewonnenen Kalibrierkurve, bezüglich ihrer Weichzonenbreiten b , vermessen. Dies erfolgt durch Zuordnung der an den definierten Messkonstellationen erhaltenen Messsignale mit den aus der Kalibrierkurve entnehmbaren Breitenwerten bezüglich der Weichzone 3.

Um die Messgenauigkeit weiter zu steigern, können die zu Kalibrierzwecken eingesetzten Planetenradbolzen nachträglich mittels konventioneller Messtechnik hinsichtlich ihrer jeweiligen Weichzonenbreiten b vermessen werden. Bei auftretenden Abweichungen zwischen den konventionellen Messtechniken, beispielsweise unter Verwendung optischer Vermessung der Weichzonenbreite geätzter Bolzen, wobei sich die Weichzone farblich deutlich von der gehärteten Zone unterscheidet, und dem gewonnenen Messsignal im Wege der dynamischen Kalibrierung, kann die Kalibrierkurve entsprechend korrigiert werden.

Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es möglich, Planetenradbolzen längs einer Förderstrecke einem Mehrfrequenzwirbelstromsensor derart zuzuführen, dass bis zu 60 Planetenradbolzen pro Minute exakt vermessen werden können. Die Messungen können mit einer quantitativen Genauigkeit hinsichtlich des Breitenwertes der Weichzone von $\pm 0,3$ mm durchgeführt werden. Diese überaus hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Prüfverfahrens führt letztlich zu einer sehr geringen Pseudo-Ausschussquote, die jenen Anteil an vermessenen Planetenradbolzen angibt, die fälschlicherweise als außerhalb eines frei wählbaren Toleranzbereiches liegend bewertet werden.

Bezugszeichenliste

- | | |
|---|-------------------------------|
| 1 | Planetenradbolzen |
| 2 | Gehärtete Zone |
| 3 | Weichzone |
| 4 | Mehrfrequenzwirbelstromsensor |

Patentansprüche

1. Verfahren zur quantitativen Längenbestimmung eines Weichzonenbereiches eines teilgehärteten metallischen Werkstückes, das wenigstens einen gehärteten und einen ungehärteten Bereich aufweist mittels wenigstens einem Mehrfrequenzwirbelstromsensor, dadurch **gekennzeichnet**, dass relativ zum Mehrfrequenzwirbelstromsensor jeweils vereinzelt ein Werkstück derart bewegt wird, dass ein durch den Mehrfrequenzwirbelstromsensor erzeugtes Wirbelstromfeld räumlich begrenzt mit dem Werkstück berührungslos in Wechselwirkung tritt, in diesem Wirbelströme heruft, die wiederum im Mehrfrequenzwirbelstromsensor ein Messsignal generieren, wobei das räumlich begrenzte Wirbelstromfeld eine längs zur Werkstückoberfläche orientierte größte Erstreckung aufweist, die größer ist als eine maximale Erstreckung des Weichzonenbereiches längs der Werkstückoberfläche, dass zu Kalibrierzwecken eine Anzahl n Werkstücke vermessen wird, wobei die Messsignale der n Werkstücke unter Annahme eines vorgegeben Normmaßes der Weichzonenbreite, d.h. Sollmaß einer längs zur Werkstückoberfläche orientierten Erstreckung des Weichzonenbereiches, zur Erstellung einer Kalibrierkurve verwendet werden, und dass unter Zugrundelegung der Kalibrierung den von jedem einzelnen Werkstück gewonnenen Messsignalen jeweils eine absolute Weichzonenbreite zugeordnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Werkstücke zylindrisch ausgebildet sind und relativ zum Wirbelstromsensor längs ihrer Zylinderachse bewegt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Werkstücke Planetenradbolzen sind, die über eine Zylindergeometrie verfügen und jeweils zwei stirnseitig gelegene Weichzonenbereiche aufweisen, die von einem gehärteten Mittenbereich

voneinander getrennt sind, wobei der Mittenbereich eine größere axiale Erstreckung aufweist als die Weichzonenbereiche, die typischerweise jeweils eine axiale Erstreckung, d.h. eine Weichzonenbreite von 1,5 mm bis 2,5 mm aufweisen.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Mehrfrequenzwirbelstromsensor derart betrieben wird, dass während der Vermessung eines Werkstückes, das sich relativ zum Mehrfrequenzwirbelstromsensor mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, eine Vielzahl von Messsignalen erzeugt und als Amplitudenortkurve aufgezeichnet wird, und

dass aus wenigstens einem Teilbereich der Amplitudenortkurve eine Messkonstellation, in der das Werkstück eine definierte Lage zum Mehrfrequenzwirbelstromsensor aufweist, ausgewählt wird, in der ein Messsignal aufgenommen wird, das zur Dickenbestimmung der Weichzonenbreite herangezogen wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch **gekennzeichnet**, dass die definierte Lage derart gewählt wird, dass das Wirbelstromfeld des Mehrfrequenzwirbelstromsensor den Weichzonenbereich zumindest in Erstreckung längs zur Bewegungsrichtung vollständig erfasst.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch **gekennzeichnet**, dass die definierte Lage ausschließlich durch Auswertung der Amplitudenortskurve ermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch **gekennzeichnet**, dass als Mehrfrequenzwirbelstromsensor ein mit vier unterschiedlichen Prüffrequenzen betreibbarer Mehrfrequenzwirbelstromsensor verwendet wird.

Zusammenfassung

Beschrieben wird ein Verfahren zur quantitativen Längenbestimmung eines Weichzonenbereiches eines teilgehärteten metallischen Werkstückes, das wenigstens einen gehärteten und einen ungehärteten Bereich aufweist mittels wenigstens einem Mehrfrequenzwirbelstromsensor.

Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass relativ zum Mehrfrequenzwirbelstromsensor jeweils vereinzelt ein Werkstück derart bewegt wird, dass ein durch den Mehrfrequenzwirbelstromsensor erzeugtes Wirbelstromfeld räumlich begrenzt mit dem Werkstück berührungslos in Wechselwirkung tritt, in diesem Wirbelströme herruft, die wiederum im Mehrfrequenzwirbelstromsensor ein Messsignal generieren, wobei das räumlich begrenzte Wirbelstromfeld eine längs zur Werkstückoberfläche orientierte größte Erstreckung aufweist, die größer ist als eine maximale Erstreckung des Weichzonenbereiches längs der Werkstückoberfläche, dass zu Kalibrierzwecken eine Anzahl n Werkstücke vermessen wird, wobei die Messsignale der n Werkstücke unter Annahme eines vorgegeben Normmaßes der Weichzonenbreite, d.h. Sollmaß einer längs zur Werkstückoberfläche orientierten Erstreckung des Weichzonenbereiches, zur Erstellung einer Kalibrierkurve verwendet werden, und dass unter Zugrundelegung der Kalibrierkurve den von jedem einzelnen Werkstück gewonnenen Messsignalen jeweils eine absolute Weichzonenbreite zugeordnet wird.

1/2

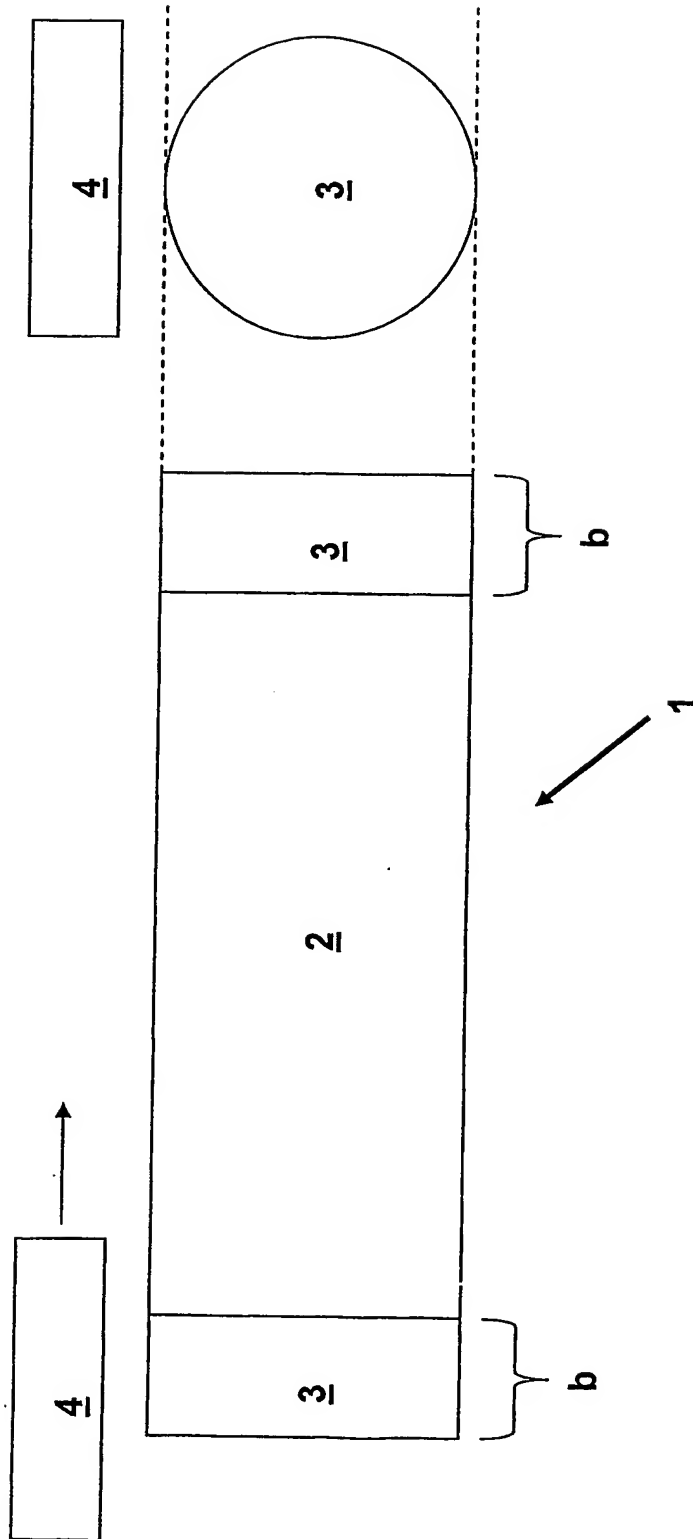


Fig. 1

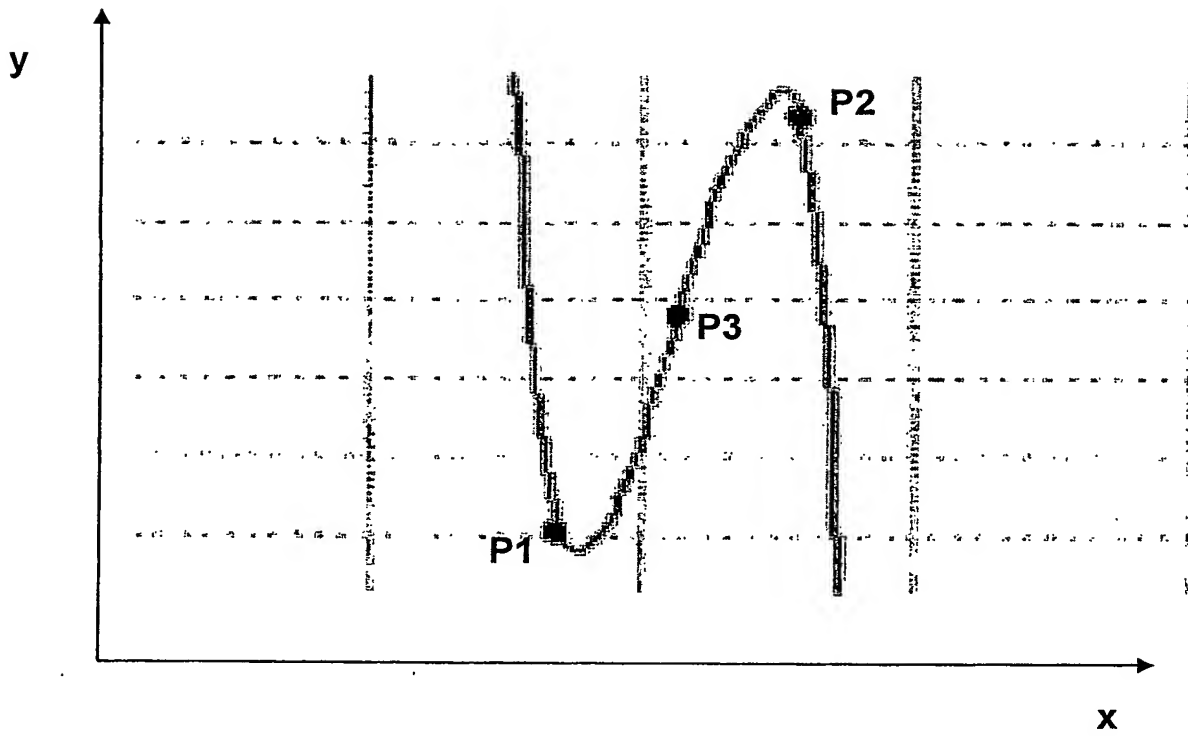


Fig. 2

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.